

УДК 669.255

Дмитриева Г. П., Черепова Т. С.

Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины. Украина, г. Киев

### ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОБАЛЬТОВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖНЫХ ПОЛОК ЛОПАТОК ГТД

*Защита контактирующих поверхностей рабочих лопаток турбины высокого давления от износа является актуальной проблемой повышения рабочего ресурса двигателя. Разработанные в Институте металлофизики им. Г. В. Курдюмова износостойкие и жаростойкие серийные литейные сплавы ХТН-37, ХТН-61, ХТН-62, используются на предприятиях авиастроения Украины «Ивченко Прогресс» и «Мотор Сич». Основой разработки сплавов являются собственные исследования фазовых равновесий, структуры и свойств эвтектических сплавов кобальта с карбидами тугоплавких металлов. Сплавы обладают уникальной структурой, сочетающей дисперсные частицы твердого кобальтового раствора и карбидов, являются естественными композитами, получаемыми непосредственно при кристаллизации. Температура плавления сплавов находится в интервале 1320–1350°С, по свойствам износостойкости в рабочем режиме работы двигателя и жаростойкости при 1100°С им нет аналогов в Украине. Рекомендуется к внедрению новый сплав ХТН-63, значительно превосходящий указанные сплавы по жаростойкости.*

Ключевые слова: сплавы кобальта; карбид; износостойкость; жаростойкость.

Современная техника нуждается в новых сплавах, которые удовлетворяли бы требованиям работы во все более сложных и часто экстремальных условиях – при высоких и низких температурах и давлениях, в агрессивных средах, в сложноподвижных состояниях. Защита контактирующих поверхностей рабочих лопаток турбины газотурбинного двигателя (ГТД) от износа при возросших температурах и нагрузках остается одной из актуальных проблем авиастроения [1]. Нанесение износостойкого и жаростойкого покрытия на такие поверхности является одним из путей продления рабочего ресурса двигателя, поскольку увеличивает срок эксплуатации лопаток до ремонта, а сам ремонт заключается в замене износостойких наплавов или напаяк на кромках бандажных полок, а не в замене лопаток. В таком качестве использовались

никелевые сплавы ВЗК и ВЖЛ-2 с температурой плавления 1220–1260°С и рабочей температурой до 900°С, что не отвечало ни температурным условиям работы двигателей до 1100°С, ни технологии дегазации и пайки при 1270°С. С целью замены таких материалов более износостойкими и жаростойкими в Институте металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины совместно с «Ивченко Прогресс» была разработана и внедрена в производство двигателей серия сплавов на основе кобальта с карбидным упрочнением – серийные сплавы ХТН-37, ХТН-61, ХТН-62 и предложен новый сплав с условным названием ХТН-63. Сплавы относятся к литейным сплавам эвтектического типа. На контактирующие поверхности рабочих лопаток сплавы наносятся наплавкой методом аргонодуговой сварки или напайкой пластин согласно сертификату

и техническим условиям ТУУ.88.061.007-98 с изменениями 1, 2, 3, 4 «Прутки литые из сплавов ХТН-37, ХТН-61 и ХТН-62».

Разработка сплавов основана на собственных исследованиях фазовых равновесий в сплавах кобальта с карбидом ниобия и построении диаграмм плавкости с определением условий эвтектической кристаллизации, испытаниях механических свойств эвтектических сплавов и отработке технологии получения промышленных слитков. Многие свойства, в частности, механические, являются структурно чувствительными. Сплавы эвтектического состава при кристаллизации приобретают структуру естественного композита, в котором сочетаются свойства пластичного прочного металла и твердого тугоплавкого карбида. Например, в эвтектическом сплаве кобальта с карбидом ниобия металлическая легированная кобальтовая основа армирована равномерно распределенными кристаллами карбида ниобия толщиной порядка 1 мкм (рис. 1). Сплав сохраняет фазовый состав и структуру до температуры, близкой к температуре плавления (1420°C). В разработанных сплавах на базе этой эвтектики, кобальт, легированный комплексом элементов, содержащим Al, Cr, W, Fe, обеспечивает прочность и жаростойкость, а карбид ниобия NbC – износостойкость.

Износостойкий сплав ХТН-37 разработан на основе данных об условиях эвтектической кристаллизации в системе Co-NbC-TiC [2], сплав ХТН-61 получен на основе эвтектики в системе Co-Nb-C [3], а сплав ХТН-62 – в результате изменения пределов легирования сплава ХТН-61, для чего были использованы данные о пределах растворимости алюминия и вольфрама в сплавах системы Co-Al-W [4, 5]. В результате удалось сохранить высокотемпературную износостойкость и повысить в несколько раз сопротивление окислению на воздухе при температурах до 1100°C, создав сплав ХТН-62. Все разработанные сплавы имеют температуру плавления 1320–1350°C, стабильную износостойкость, превышающую износостойкость сплава ВЖЛ-2 во всем диапазоне температур, в частности, при 1000°C (рис. 2).



Рис. 1. Микроструктура эвтектического сплава кобальта с карбидом ниобия, X500

Износ при 1000°C,  $I_v \times 10^6 \text{ мм}^3/\text{цикл}$

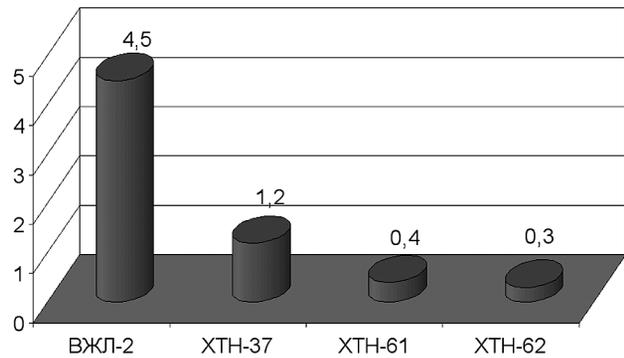


Рис. 2. Объемный износ сплавов в условиях газодинамического нагружения

Сопротивление сплавов высокотемпературному износу определяли на газодинамическом стенде в условиях, приближенных к условиям работы лопаток ГТД [6], при температурах до 1000°C, в атмосфере продуктов сгорания авиационного топлива.

Жаростойкость при 1100°C в спокойном воздухе определяли как величину, обратную приросту массы при испытаниях, состоящих из пяти циклов по 10 часов и оценивали по соотношению прироста массы к исходной площади поверхности образца (таблица). Наибольшую стойкость к высокотемпературному окислению имеет новый сплав, условно маркированный как ХТН-63, в котором дополнительно содержится до 10% рения [7]. Рений образует с компонентами сплава жаростойкую фазовую составляющую, включающую хром, кобальт и алюминий. Поскольку предприятие заинтересовано в разработке и испытаниях новых сплавов, авторы рекомендуют к внедрению сплав ХТН-63, значительно превосходящий серийные сплавы по жаростойкости.

Сплавы изготавливаются промышленным способом на предприятии ООО «Мелта» г. Киев. Технология изготовления включает плавку шихты в индукционных печах в вакууме при температуре, близкой к 1500°C и вылив расплава в керамические изложницы. Сплавы не требуют термической обработки и используются в литом состоянии. Детали из слитка в виде пластин получают способом точного литья по выплавляемым моделям в керамические формы в атмосфере инертного газа. Пластины хорошо наносятся на бандажные полки пайкой припоями ВПр36 или ВПр24 при температурах 1220–1270°C или наплавляются аргоно-дуговой сваркой без образования сварочных трещин. Структурная и фазовая стабильность сплавов сохраняется во всем рабочем интервале температур.

Полетные испытания на гарантийный ресурс (4000 часов) по сравнению со сплавом ВЖЛ-2

Жаростойкость кобальтовых литых сплавов

Сплав	Прирост массы $\Delta m \cdot 10^{-5}$ , г/мм <sup>2</sup> за время (час)					Температура плавления, $\pm 10^\circ\text{C}$
	10	20	30	40	50	
ХТН-37	0,43	8,1	8,7			1310
ХТН-61	2,6	2,9	3,35	4,7	4,9	1340
ХТН-62	0,76	0,96	1,17	1,38	1,6	1320
ХТН-63	0,3	0,33	0,42	0,48	0,52	1330

(1000 часов) свидетельствуют о существенном преимуществе сплава ХТН-37 [8]. Применение комплексного жаростойкого покрытия и высокотемпературного износостойкого сплава ХТН-61 позволило увеличить ресурс рабочих лопаток турбины высокого давления двигателя Д18Т до 12000 часов [9]. Сплав ХТН-62, находящийся на стадии полетных испытаний на предприятии «Ивченко Прогресс», по свойствам износостойкости и жаростойкости не имеет аналогов в Украине. Сплавы ХТН-61 и ХТН-62 внедрены в производство новых и ремонт старых двигателей Д18Т, которые эксплуатируются на самолетах Ан-124 «Руслан» и Ан-225 «Мрия», что увеличивает гарантийный ресурс их эксплуатации.

Литература

[1] Пейчев Г. И. ЗМКБ Прогресс: Новые материалы и прогрессивные технологии в авиадвигателестроении /Г. И. Пейчев, В. Е. Замковой, Н. В. Ахрамеев //Технологические системы.– № 2.– 2000.– С. 5–15.  
 [2] Сплав на основе кобальта. Патент Украины UA 8240A, МПК С22С 19/07. Оpubл. 29.03.1996, бюл. № 1.  
 [3] Дмитриева Г. П. Структура и свойства износостойкого сплава на основе кобальта с карбидом ниобия /Г. П. Дмитриева, Т. С. Черепова, Т. А. Косорукова, В. И. Ничипоренко // Металлофиз. новейшие технol.– Т. 37.– № 7.– 2015.– С. 973–986.

[4] Сплав на основе кобальта. Патент Украины UA 39450, МПК С22С 19/07. Оpubл. 25.02.2009, бюл. № 4.  
 [5] Черепова Т. С. Зносостійкий сплав для захисту контактних поверхонь робочих лопаток авіаційних двигунів від окислення при високих температурах /Т. С. Черепова, Г. П. Дмитрієва, А. В. Носенко, О. М. Семирга //Наука та інновації.– Т. 10.– № 4.– 2014.– С. 22–31.  
 [6] Ивченко Л. И. Изнашивание жаропрочных материалов при вибрациях /Л. И. Ивченко, А. Я. Качан //Вестник двигателестроения.– № 2.– 2008.– С. 160–163.  
 [7] Жаростійкий кобальтовий сплав. Патент України UA 105154, МПК С22С 19/07. Оpubл. 10.04.2014, бюл. № 7.  
 [8] Пейчев Г. И. Разработка и внедрение высокотемпературного износостойкого сплава для упрочнения бандажных полок лопаток ГТД /Г. И. Пейчев, А. К. Шурина, В. Е. Замковой, Г. П. Калашников, Н. В. Андрейченко //Технологические системы.– № 3.– 2000.– С. 58–60.  
 [9] Леонтьев В. А. Восстановление работоспособности ГТД с применением новых технологий и материалов /В. А. Леонтьев, С. Д. Заличихис, Э. В. Кондратюк, В. Е. Замковой //Вестник двигателестроения.– № 4.– 2006.– С. 99–103.

Dmitrieva G. P., Cherepova T. S.

G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, National Academy of Science of Ukraine. Kiev, Ukraine

## WEAR-RESISTANT COBALT ALLOYS FOR HARDEN RETAINING SHELVES GTE BLADES

*Protection of the contacting surfaces of the blades pressure turbine from wear is an urgent problem of increasing the working life of engines. The wear-resistant and heat-resistant serial casting alloys XTH-37, XTH-61, XTH-62 are developed in the G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics NASU, Kiev, and used in the aircraft industry of Ukraine – «Ivchenko Progress» and «Motor Sich». The basis for the development of the alloys are own researches of phase equilibrium, structure and properties of the eutectic alloys with cobalt and of refractory metals carbides. The alloys have a unique structure combining particles cobalt-based solid solution and the particles of carbides, and form natural composition material obtained directly by crystallization as a result. Melting point of developed alloys is in the range 1320–1350°C, the high wear resistant at all operational mode of the engine and the heat resistance at 1100°C made them unique in Ukraine. It is recommended to introduce a new alloy HTN-63, significantly exceeding these alloys for heat resistance.*

*Keywords:* cobalt alloys; carbide; wear resistance; heat resistance.

### References

- [1] Pejchev G. I. ZMKB Progress: Novie materialy i progressivnie tekhnologii v aviadvigatelestroenii /G. I. Pejchev, V. E. Zamkovej, N. V. Akhrameev // Tehnologicheskie sistemy.– № 2.– 2000.– P. 5–15.
- [2] Splav na osnove kobalta. Patent Ukraini UA № 8240A, MKI C22C 19/07. Opubl. 29.03.1996, bull. № 1.
- [3] Dmitrieva G. P. Struktura i svojstva iznosostojkogo splava na osnove kobalta s karbidom niobiya /G. P. Dmitrieva, T. S. Cherepova, T. A. Kosorukova, V. I. Nichiporenko // Metallofiz. noveyshye tekhnol.– T. 37.– № 7.– 2015.– P. 973–986.
- [4] Splav na osnove kobaltu. Patent Ukraini UA № 39450. MKI C22C 19/07. Opubl. 25.02.2009, bull. № 4.
- [5] Cherepova T. S. Znosostjkij splav dlya zakhistu kontaktnykh poverkhon lopatok aviatsijnikh dvyguniv vid okyslennya pry vysokykh temperaturakh /T. S. Cherepova, G. P. Dmitrieva, A. V. Nosenko, O. M. Semirga // Nauka ta inovatsii.– T. 10.– № 4.– 2011.– P. 22–31.
- [6] Ivschenko L. I. Iznashivanie zharoprochnikh materialov pri vibratsii /L. I. Ivschenko, A. Ya. Kachan // Vestnik dvigatelestroeniya.– № 2.– 2008.– P. 160–163.
- [7] Zharostijkij kobaltovij splav. Patent Ukraini UA № 105154 MKI C22C 19/07/ Opubl. 10.04.2014, bull. № 7.
- [8] Pejchev G. I. Razrabotka i vnedrenie vysokotemperaturnogo iznosostojkogo splava dlya uprochneniya bandazhnikh polok lopatok GTD /G. I. Pejchev, A. K. Shurin, V. E. Zamkovej, G. P. Kalashnikov, N. V. Andrejchenko // Tehnologicheskie sistemy.– № 3.– 2000.– P. 58–50.
- [9] Leont'jev V. A. Vosstanovlenie rabotosposobnosti GTD s primeneniem novikh tekhnologij i materialov / V. A. Leont'jev, S. D. Zalichikhis, Eh. V. Kondratyuk, V. E. Zamkovej // Vestnik dvigatelestroeniya.– № 4.– 2006.– P. 99–103.